

F. PACHECO TORGAL

C-TAC, CENTRO DE TERRITÓRIO, AMBIENTE E CONSTRUÇÃO, UNIVERSIDADE DO MINHO

Resumo

Em novembro de 2000 a Academia de Engenharia publicou um livro com o título “A engenharia e a tecnologia ao serviço do desenvolvimento de Portugal: Prospetiva e estratégia, 2000-2020”. A parte prospetiva relativa à área da engenharia civil e dos materiais de construção nada continha porém sobre como é que estes iriam evoluir no futuro, contando para esse efeito com contributos da nanotecnologia e da biotecnologia. Tendo em conta que o desenvolvimento de materiais avançados para a eficiência energética de edifícios faz parte do grupo de Projetos Importantes de Interesse Comum Europeu (IPCEI), nos termos do Relatório Final do Grupo de Peritos de Alto Nível sobre tecnologias facilitadoras essenciais (KEITs), consequentemente o presente artigo analisa, por isso, de que forma investigações recentes no domínio da nanotecnologia e da biotecnologia podem contribuir para a melhoria da eficiência energética dos edifícios.

Introdução

Em novembro de 2000 e dando corpo ao projeto “Engenharia e Tecnologia 2000” dirigido pelo Prof. Luís Valadares Tavares, a Academia de Engenharia publicou um livro com o título “A engenharia e a tecnologia ao serviço do desenvolvimento de Portugal: Prospetiva e estratégia, 2000-2020” (TAVARES, 2000). Prefaciada respetivamente pelo Presidente da República, pelo Presidente da Academia de Engenharia, pelo Bastonário da Ordem dos Engenheiros e pelo Presidente da Associação Industrial Portuguesa, a referida obra condensava o trabalho de mais de 500 especialistas de 300 instituições, tratando-se à altura de um importante documento sobre o presente e o futuro da engenharia e tecnologia no nosso país.

Composto por sete capítulos e ao longo de mais de setecentas páginas que abarcaram diferentes áreas incluindo a engenharia civil e a área dos materiais de construção. Infelizmente, porém, a mesma nada continha sobre como é que estes poderiam evoluir no futuro, contando para esse efeito com contributos da nanotecnologia e da biotecnologia, importante omissão que não resultou porém de qualquer falha do trabalho dos diferentes especialistas, mas unicamente dos elevados desenvolvimentos que ocorreram naquelas áreas nos últimos anos e que aqueles não poderiam prever. Omissão essa que é tanto mais importante quando se sabe que o Relatório Final do Grupo de Peritos de Alto Nível sobre tecnologias facilitadoras essenciais (KEITs) refere que desenvolvimento de materiais avançados para a eficiência energética de edifícios faz parte do grupo de Projetos Importantes de Interesse Comum

Europeu (IPCEI). Este relatório é particularmente importante porque ilustra bem como os países asiáticos ameaçam a competitividade industrial na Europa. O mesmo mostra que a Alemanha, Reino Unido e a França, que no início de 2000 ainda ocupavam respetivamente o 3º, o 5º e o 7º lugar do ranking mundial, baixaram para o 4º, 8º e 9º lugares em 2010, e mais recentemente a França baixou para o 10º lugar e o Reino Unido saiu dos dez primeiros lugares. Enquanto isso a China passou do 7º lugar na década de 90 para o 4º em 2000, depois para o 2º lugar e em 2012 chegou ao 1º lugar.

Muito recentemente e a propósito da comemoração dos 60 anos da União Europeia, diversas personalidades a nível Europeu subscreveram um documento onde entre muitas outras coisas se refere que “A Europa é a única entidade do mundo cujo modelo social oferece a todos educação, cuidados de saúde, rendimento mínimo, férias anuais e pensão de reforma”. Porém, é crucial não esquecer que este modelo só poderá subsistir enquanto a Europa detiver uma supremacia económica assente numa economia muito competitiva. Não admira por isso que logo na introdução do relatório supracitado, o Comissário Carlos Moedas, responsável pela Investigação, Ciência e Inovação, refira que é prioritário trazer para o mercado as tecnologias mais recentes. O presente artigo analisa por isso de que forma investigações recentes no domínio da nanotecnologia e da biotecnologia podem contribuir para melhorar a eficiência energética dos edifícios.

A importância da eficiência energética

O acentuado aumento do consumo energético a nível mundial está relacionado com o aumento da população mundial. Como a cada semana que passa aquela se somam 200.000 pessoas, é evidente que o consumo energético irá continuar a aumentar (King et al., 2015). Também porque, como revelam as estatísticas do Banco Mundial, à medida que cresce o rendimento dos habitantes dos países mais pobres cresce igualmente o seu consumo de eletricidade por via da alocação de uma parte desse rendimento na aquisição de maiores condições de conforto. Ainda assim, e com um consumo per capita de aproximadamente 500 kWh/ano, aqueles estão ainda longe dos mais de 3000 kWh/ano da média mundial, e mais longe ainda dos 9000 kWh/ano dos países mais ricos.

Infelizmente só 20% corresponde a eletricidade proveniente de energias renováveis e as previsões apontam para que este valor ronde os 25% em 2040. Além disso, estudos recentes (Hadian e Madani, 2015) que analisaram diferentes energias ditas renováveis concluíram que algumas não são tão “verdes” como fazem pressupor, e outras como os biocombustíveis são piores até do que o gás natural. Isto significa que a maior parte da produção de energia elétrica a nível mundial continuará a ser proveniente de combustíveis fósseis, assim contribuindo para agravar o grave problema das alterações climáticas.

Neste contexto, a eficiência energética assume-se como particularmente importante para tentar mitigar o crescimento de emissões de gases com efeito de estufa (Williams et al., 2012). Como uma parte substancial do consumo de energético ocorre no parque edificado e algumas previsões apontam para que entre 2010 e 2050 as necessidades de aquecimento e arrefecimento de edifícios cresçam 79% no sector habitacional e 84% nos edifícios comerciais (Ürge-vorsatz et al., 2015), significa isso que a eficiência energética em edifícios é determinante para se conseguirem importantes reduções de emissões de gases com efeito de estufa. Mas é igualmente importante para mitigar o problema da pobreza energética que afeta entre 50 a 125 milhões de europeus, sendo responsável por um aumento dos problemas de saúde de crianças e idosos e também por um acréscimo de mortalidade (Atanasiou et al., 2014).

Um estudo recente conclui que no estado do Vermont a mortalidade provocado pela pobreza energética é superior à causada por acidentes de trânsito (Teller-Elsberg et al. 2016). A anterior Diretiva 2002/91/CE (EPBD), relativa ao desempenho energético dos edifícios foi revista (2010/31/EU) e aprovada em 19 de Maio de 2010 pelo Parlamento e o Conselho Europeu. Um dos novos conceitos incluídos na nova EPBD é o conceito relativo a edifícios de consumos energéticos quase nulos (Nearly zero energy building - NZEB). O artigo 9 aponta para 31 de dezembro de 2020 como a data limite a partir da qual todos os novos edifícios deverão respeitar o conceito NZEB (31 de dezembro de 2018 para os novos edifícios públicos). Esta diretiva não se aplica porém aos edifícios existentes, que constitui a maioria do parque edificado, exceto para os casos daqueles com uma área útil superior a 1000 m² que sejam objeto de profunda renovação. Razão pela qual a UE aprovou em 25 de Outubro de 2012, no âmbito de uma Diretiva para a Eficiência Energética (2012/27/EU), cujo artigo 5 estabelece que: “cada Estado-Membro assegura que, a partir de 1 de Janeiro de 2014, sejam renovados todos os anos 3% da área construída total dos edifícios aquecidos e/ou arrefecidos detidos e ocupados pelas respetivas administrações centrais, a fim de cumprir pelo menos os requisitos mínimos de desempenho energético por si estabelecidos em aplicação do artigo 4 da Diretiva 2010/31/EU. Essa taxa de 3 % é calculada sobre a área construída total dos edifícios com uma área útil total superior a 500 m², detidos e ocupados pela administração central do Estado-Membro em causa e que, em 1 de Janeiro de cada ano, não cumpram os requisitos mínimos nacionais de desempenho energético fixados em aplicação do artigo 4 da Diretiva 2010/31/EU. A partir de 9 de Julho de 2015, esse limiar é reduzido para 250 m².”

As elevadas potencialidades da nanotecnologia

A literatura em geral (Feynman, 1960) aponta uma palestra proferida pelo físico Richard P. Feynman com o título “There’s plenty of room at the bottom”, num encontro da Sociedade Americana de Física, que teve lugar em 1959 no Instituto de Tecnologia da Califórnia-CalTech, como representando o início da era da nanotecnologia. A nanotecnologia envolve o estudo à escala do nanometro (1nm= 1×10⁻⁹m). Para se ter um ponto de comparação, é preciso ter presente que um cabelo humano tem 80.000nm de espessura e que a dupla hélice de ADN tem aprox. 2nm de diâmetro.

Uma definição mais precisa de nanotecnologia foi apresentada alguns anos mais tarde por Drexler (1981), como referente à produção com dimensões e precisão entre 0,1 e 100 nm. Trata-se de uma área com um elevado potencial de crescimento que conta vários milhões de artigos publicados e mais de um milhão de pedidos de patentes (Mangematin, V.; Walsh, 2012). Dezenas de países já aprovaram estratégias para a nanotecnologia e estão já na fase da implementação de planos nacionais nesta área (Soltani et al., 2011). A União Europeia alocou 4865 milhões de euros para “Nano ciências, nanotecnologias, materiais e novas tecnologias de produção” do 7º Quadro Comunitário (2007-2013). Já a China considerou a nanotecnologia como uma área prioritária na sua estratégia nacional referente ao desenvolvimento da ciência e tecnologia no período 2006-2020, e aumentou em conformidade o nível de investimento em investigação na mesma. Em consequência dessa política, a China tornou-se uma das potências mundiais em nanotecnologia, sendo atualmente responsável pelo maior número de artigos científicos naquela área, logo a seguir aos EUA (Wang e Guan, 2010).

As investigações na área da nanotecnologia cresceram de forma exponencial nos últimos anos e, entre as várias aplicações estudadas, merecem particular atenção para a engenharia civil as relativas ao desenvolvimento de materiais de construção de elevado desempenho (Pacheco-Torgal e Jalali, 2011; Pacheco-Torgal et al., 2013). Uma aplicação de elevado impacto na área do consumo energético diz respeito ao desenvolvimento de nanomateriais com elevado desempenho em termos de isolamento térmico, como é o caso do aerogel. Este material foi inventado por Samuel Kistler em 1932 e desenvolvido pela NASA na década de 50, tendo ficado conhecido como “fumo sólido”. É constituído por 99,8% de ar e 0,2% de partículas de nanosílica, apresenta o menor valor de condutividade térmica de qualquer sólido conhecido (entre 0,004 a 0,03 W/mK). Os isolamentos à base de aerogel são não inflamáveis, não carcinogénicos e não libertam fumos tóxicos durante incêndios.

O primeiro e mais conhecido material de isolamento térmico são as mantas produzidas pela Aspen Aerogels (Fig 1a). A empresa BASF desenvolveu placas de isolamento à base de poliuretano e aerogel com a designação SLENTITE (Fig 1d). Este material foi utilizado na reabilitação de um edifício construído em 1906 em Karlsruhe na Alemanha tendo permitido uma redução de 70% de calor através das paredes (Filate, 2014). Já na reabilitação do pavimento foram utilizadas placas de aerogel ThermablockSP (Fig 1c). Atualmente já são também comercializadas placas de isolamento térmico à base de aerogel com a designação STO therm In Aeverso (Fig 1e). Nos últimos anos vários autores desenvolveram materiais ligantes à base de aerogel. Kim et al. (2013) estudou o desempenho de pastas de cimento com aerogel em pó tendo constatado que 2% eram suficientes para obter uma relevante redução na condutividade térmica. Buratti et al. (2014) concluíram que o uso de uma argamassa contendo aerogel com apenas 5mm de espessura permitiu uma redução de temperatura de 2°C. O fabricante de argamassas industriais Fixit AG contou com a colaboração do Laboratório Federal Suíço da Ciência e Tecnologia dos Materiais no desenvolvimento de uma argamassa com uma condutibilidade térmica de 28 mW7(m.K) designada Fixit 222 Aerogel. Embora o seu custo seja ainda mais elevado do que o das argamassas tradicionais, é expectável que as investigações em curso consigam torná-lo mais competitivo.

Devido à relativamente elevada condutibilidade do material vidro, as janelas continuam a ser zonas de elevadas perdas térmicas e isto apesar das soluções disponíveis em termos comerciais terem vindo progressivamente a apresentar desempenhos melhorados. As janelas com vidros duplos comuns apresentam um coeficiente de transmissão térmico $U=3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e as melhores soluções comerciais rondam $U=1.0 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Neste campo específico também a nanotecnologia veio trazer importantes benefícios, pois já existem protótipos de janelas baseadas em aerogel com um valor de U dez vezes inferior. Este novo material permite além disso uma redução de massa substancial, comparativamente às janelas de vidros tradicionais, que nalguns casos pode ser quase dez vezes inferior (Schultz et al., 2005). E este valor pode ainda ser mais reduzido (JELLE et al., 2012). A Fig. 2 compara aerogel monolítico com aerogel do tipo granular. O primeiro tipo está associado a um menor valor de U e a transmitância mais elevada. Buratti e Moretti (2013) compararam o desempenho de diferentes tipos de materiais para fachadas envidraçadas e concluíram que aquelas à base de aerogel granular eram as mais eficientes, especialmente para climas frios, permitindo uma redução do consumo de energia até 20% em comparação com envidraçados correntes. Também recentemente outros autores confirmaram o superior desempenho de fachadas à base de aerogel granular (Wang et al., 2014; Berardi, 2015). Um estudo ainda mais recente, onde foi analisada a substituição de janelas duplas por janelas à base de nanogel, permitiu uma redução de 14% no consumo anual de energia de edifício localizado na cidade de Dhahran (Mujeebu et al., 2016).

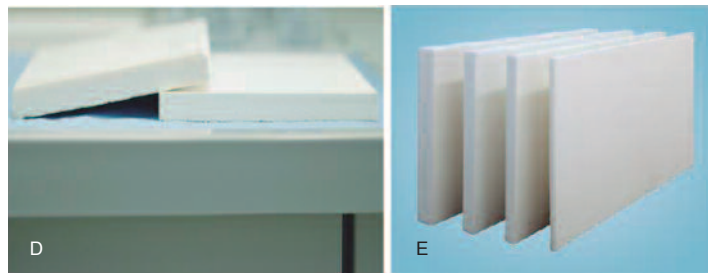
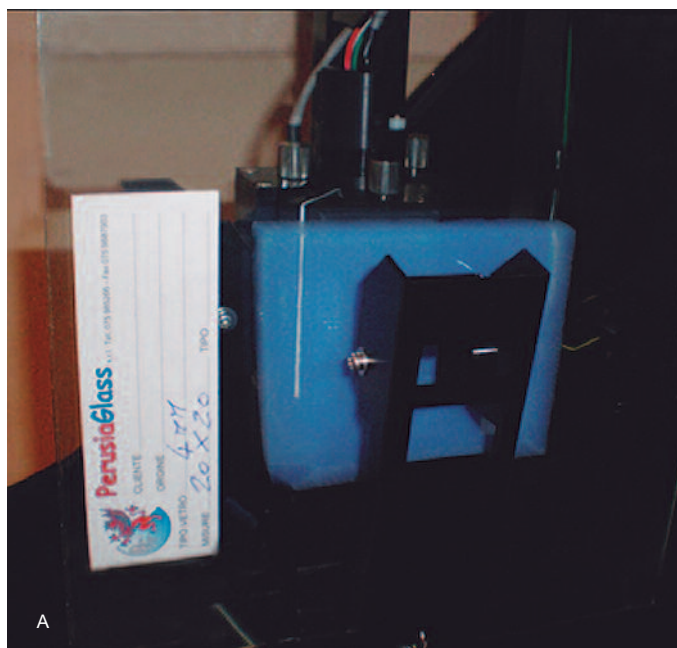


FIG. 1 - A) MANTA ISOLANTE DA ASPEN AEROGELS;
b) Fitas para minimização de pontes térmicas da Thermablock;
c) Placas para pavimento da ThermablockSP Aerogel;
d) Placas de elevado isolamento SLENTITE da BASF;
e) Placas de elevado isolamento Sto - Aevero

A nanotecnologia também tem vindo a ser utilizada para aumentar o desempenho dos materiais de mudança de fase (PCMs). Em função da temperatura do ar, estes materiais conseguem alternar entre fases líquidas e sólidas libertando ou absorvendo calor, conseguindo dessa forma atenuar os picos de aquecimento e arrefecimento no interior de edifícios. Os recentes estudos sobre o desenvolvimento de PCMs nanoencapsulados (Kalaiselvam et al., 2012; Chen et al., 2012; Rao et al., 2013; Parameshwaran R, Kalaiselvam, 2013, 2014, Kalnæs e Jelle, 2015) para materiais de fachadas de edifícios constitui uma relevante e recente linha de investigação já mencionada no Relatório de Nanotecnologia do Grupo de Peritos de Alto Nível sobre tecnologias facilitadoras chave. Uma outra importante linha de investigação em termos de eficiência energética respeita ao desenvolvimento de revestimentos com uma elevada reflectância (cool materials), que permitem uma redução das necessidades energéticas de arrefecimento (Santamouris et al., 2011; Gao et al., 2013). O projecto europeu “Cool coverings”, financiado no âmbito do programa quadro FP7, levou a cabo uma abordagem nanotecnológica para desenvolver revestimentos com elevada reflectância mas também com um custo efetivo (Escribano, 2013).



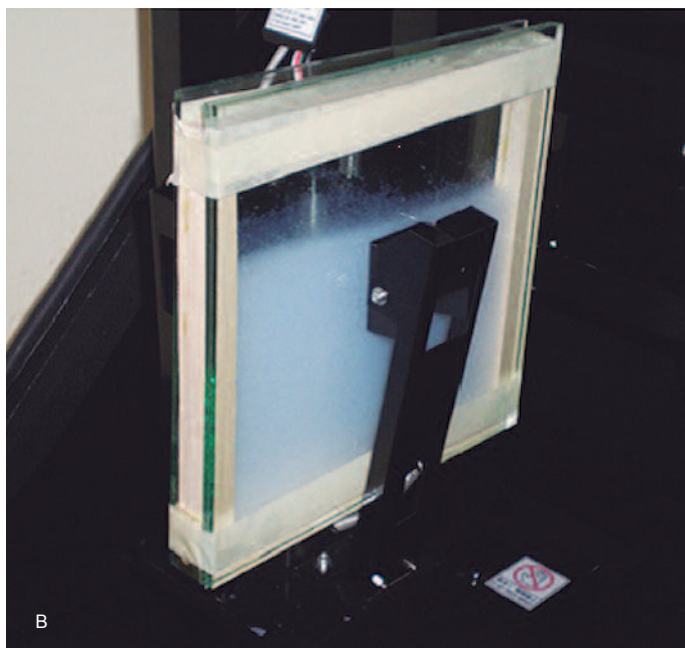


FIG. 2 - SOLUÇÕES PARA JANELAS À BASE DE AEROGEL:
a) monolítico
b) granular (Buratti e Moretti, 2012)

Investigações mais recentes sobre estes materiais podem ser encontradas em (Pisello, 2015; Jelle et al., 2015, Zhang et al., 2015, Pisello et al., 2016). Avanços recentes no domínio da nanotecnologia apontam também para a possibilidade de desenvolvimento de janelas perfeitas, que na estação de aquecimento são capazes de minimizar o aquecimento solar. Estas são também conhecidas por janelas inteligentes e nas quais a aplicação de um estímulo exterior, leva a uma alteração da transmitância dos vidros, a qual permite que os mesmos possam estar completamente transparentes num momento e completamente opacos em momento posterior (Figura 3).



FIGURA 3 - SEQUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DA TRANSMITÂNCIA DE UM VIDRO (BAETENS ET AL., 2010A)

Estes materiais, conhecidos por cromogénicos, são classificados de acordo com o tipo de estímulo responsável pela alteração das suas propriedades óticas: elétrico (electocrómicos), térmico (termocrómicos), gasoso (gasocrómicos) ou fotónico (fotocrómicos). O primeiro caso é o mais comum e diz respeito a vidros revestidos com um filme de óxido de tungsténio, que muda de cor quando lhe é aplicada uma carga elétrica de baixa voltagem de aprox. 5V DC. O óxido de tungsténio foi aliás o primeiro material a ser utilizado aquando da descoberta do efeito eletroquímico em 1969, continuando ainda a ser um dos mais promissores para esta aplicação (Lee & Di Bartolomeo, 2002). Papaefthimiou et al. (2006) refere uma poupança até 54% em

consumos de energia elétrica para efeitos de arrefecimento, quando se compara o desempenho de uma janela electrocrómica com uma janela de vidro simples. Yoshimura et al. (2009) estudaram o desempenho de uma janela gasocrómica referindo poupanças de 34% nas necessidades energéticas de arrefecimento face a uma janela de vidros duplos correntes. Tavares et al. (2015) referem que a substituição de janelas com vidro simples por janelas electrocrómicas permite uma poupança energética anual de 14%. Recentemente, Pittaluga et al. (2015) estudou a utilização inovadora de uma janela inteligente do tipo electrocrómico aplicada numa fachada que no Inverno funciona como uma parede de Trombe e no Verão funciona como uma fachada ventilada, tendo observado uma redução de 22% em termos de necessidades de arrefecimento (Fig.4).

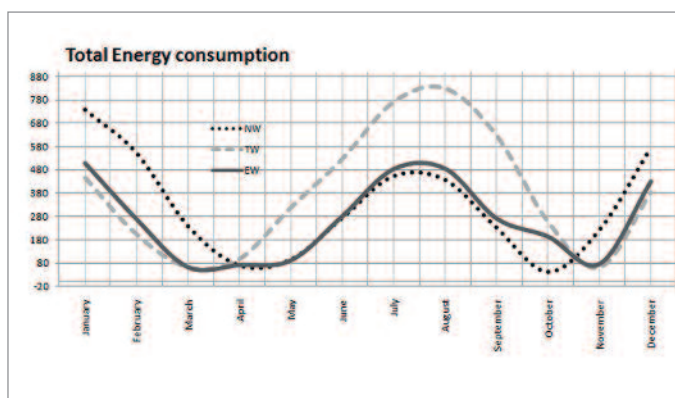


FIG. 4 - ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA (PAREDE NORMAL-NW, PAREDE DE TROMBE-TW, PAREDE COM JANELA ELECTROCRÓMICA-EW) (PITTALUGA ET AL. (2015))

Alguns autores (Granqvist, 2013; Loonen et al., 2013, Favoino et al., 2015) consideram que as janelas inteligentes constituem uma importante tecnologia no âmbito das fachadas climaticamente adaptáveis, apresentando por isso potencial para facilitar o alcance da meta relativa aos edifícios com necessidades energéticas quase nulas.

Apesar desta ser uma área de investigação relativamente recente, o facto é que a oferta comercial de janelas com vidros electrocrómicos com uma vida útil de 30 anos e capazes de suportar 100.000 ciclos de alteração da transmitância é já uma realidade em vários países (SAGE Electrochromics, Saint Gobain Sekurit, Econtrol Glas, Gesimat e ChromoGenics AB). A startup ChromoGenics foi fundada em 2003 como resultado de duas décadas de investigação do Professor Claes-Göran Granqvist e da equipa por ele coordenada na universidade de Uppsala na Suécia. Esta empresa, cuja tecnologia patenteada usa uma película electrocrómica num processo que é mais escalável e com menor custo em alternativa ao revestimento dos panos de vidro, desde 23 de Março de 2017 que está quotada no índice Nasdaq First North. Aliás, tendo em conta que a viabilidade económica de um produto é função da dimensão do mercado potencial a que aquele se destina, convém frisar que é expectável (Pike, 2012) que o mesmo possa atingir aproximadamente 700 milhões de dólares em 2020. Por outro lado, as expectativas sobre a futura definição de uma taxa de carbono com um valor bastante superior ao que é hoje praticado no âmbito do sistema de comércio de emissões de carbono (EU ETS) irá acelerar a viabilidade económica destas janelas e a sua implantação no mercado.

O novo mundo da biotecnologia

A biotecnologia é uma área de elevadas potencialidades com aplicações em várias áreas que vão da medicina à indústria da construção. Numa interessante e até impressionante conferência TED realizada em Maio de 2016, o nanobiotecnólogo Oded Shoseyov fala da manipulação do ADN de plantas e de insetos para o desenvolvimento de materiais de elevado desempenho (TED, 2016). A biotecnologia constitui uma das tecnologias facilitadoras essenciais, financiadas pelo programa quadro H2020 com potencial para trazer contributos importantes e inovadores, não só para a eco-eficiência do sector da construção mas também para a eficiência energética do parque edificado (Pacheco-Torgal, 2014). Os mesmos incluem, por exemplo, a utilização de adjuvantes de origem biológica ou biodegradáveis para substituir adjuvantes químicos.

Nos últimos anos, o número de publicações científicas sobre biopolímeros cresceu à volta de 900%, contudo estes materiais ainda constituem somente uma pequena percentagem da indústria dos polímeros (Babu et al., 2013). Também os adjuvantes de origem biológica obtidos por fermentação com recurso a bactérias e fungos têm vindo a ser objeto de novas investigações (Pei et al. 2015), até porque a sua taxa de biosíntese é entre duas a quatro vezes superior à dos biopolímeros de origem vegetal (Ivanov et al., 2014). As aplicações dos biopolímeros na indústria da construção são inúmeras e incluem entre outras os bioadesivos, as biomembranas, os biofiltros ou as tintas e outros revestimentos à base daqueles materiais (Pacheco-Torgal et al., 2016). Além disso, os desenvolvimentos nanotecnológicos que tiveram lugar nos últimos anos irão permitir o desenvolvimento de biopolímeros com um desempenho melhorado. Estudos sobre cristais de nanocelulose irão permitir produzir materiais de construção de elevado desempenho (Charreau et al., 2013; Chirayil et al., 2014), sendo que o número de publicações nesta área tem vindo a crescer de forma exponencial (Mariano et al., 2014).

Na conferência TED atrás mencionada, o cientista Oded Shoseyov refere que a nanocelulose irá tornar-se um dos mais importantes materiais industriais (TED, 2016). Em termos de aplicações constitui bom exemplo a produção de aerogel à base de nanocelulose para materiais isolantes térmicos (Chen et al., 2014). Nguyen et al. (2014) publicou resultados de investigações acerca do desenvolvimento de aerogel à base de nanocelulose obtido a partir de resíduos de papel. E como este material revelou características hidrófobas, apresenta potencial para poder ser utilizado no exterior das fachadas dos edifícios. Este material apresenta uma condutibilidade térmica 0.03 W/(m.K) , que é inferior à apresentada pelos isolantes térmicos correntes à base de poliestireno e poliuretano. Importa ter presente que a produção destes últimos implica a geração de compostos químicos altamente tóxicos e também que em caso de incêndio libertam fumos tóxicos (Pacheco-Torgal et al., 2012).

Uma outra importante e potencial aplicação da biotecnologia para a eficiência energética do ambiente construído diz respeito à produção de biomassa através da criação de microalgas em fotobiorreactores (FBR), do tipo painel integrados em

fachadas ou coberturas. A utilização de microalgas para a produção de biocombustíveis teve início da década de 80 (Chisti, 1980) tem vindo a ganhar interesse acrescido no contexto do aumento da procura por energias renováveis. Ao contrário de outros biocombustíveis, as microalgas não só têm um elevado teor de óleo como também um crescimento extremamente elevado. São uma das espécies com maior crescimento, sendo capazes de duplicar a sua biomassa ao fim de apenas 24 horas, o que representa entre 100 a 200% do que qualquer outra cultura (Chisti, 2007). Importa ter presente que o mercado de biocombustíveis apresenta um crescimento médio anual de 40%, ultrapassando mais de 170.000 milhões de litros (Ullah et al., 2015). Por outro lado, as microalgas têm capacidade de assimilar nutrientes presentes nas estações de tratamento de águas residuais, o que significa que a utilização destas no tratamento deste tipo de águas pode constituir uma solução que não só aumenta a sua valorização económica mas ao mesmo tempo contribui para resolver o problema das águas residuais. Além disso, como uma tonelada de biomassa de microalgas consegue reter meia tonelada de CO_2 (Koller et al., 2015), isto significa que esta capacidade de sequestro de dióxido de carbono irá aumentar não só a sua eco-eficiência mas também a eficiência do seu custo por via de uma futura taxa de carbono já atrás mencionada. O cultivo de microalgas pode ser feito em sistemas de lagoas ou em fotobiorreactores fechados. Os primeiros têm um menor custo de construção e operação mas apresentam menor produtividade. Os segundos podem incluir diversos formatos como sistemas tubulares ou painéis planos (Liao et al., 2014). Os fotobiorreactores em painel para fachadas são similares aos industriais mas são construídos para serem integrados arquitecturalmente (Cervera e Pioz, 2014). Os mesmos podem ser projetados com diferentes concentrações de algas para providenciarem diferentes níveis de sombreamento (Fig 5). A Fig 6 apresenta duas imagens daquele que é o primeiro edifício com 129 fotobiorreactores com as dimensões $2.5\text{m} \times 0.7\text{m}$.



FIG. 5 - FOTOBIORREACTOR PLANO COM FUNÇÕES DE SOMBREAMENTO



FIG. 6 - EDIFÍCIO BIQ EM HAMBURGO

Conclusões

Em Portugal, não só a indústria da construção em geral e a área dos materiais de construção em particular continuam a fazer uso de baixos níveis tecnológicos, como também um conhecido e importante estudo prospetivo para este sector não conseguiu antecipar a extraordinária evolução tecnológica de outras áreas e a sua influência neste sector. O Relatório Final do Grupo de Peritos de Alto Nível sobre tecnologias facilitadoras essenciais (KEITs) é um instrumento essencial para tentar relançar a competitividade industrial da Europa e assim fazer face à forte concorrência dos países asiáticos, concorrência essa que constitui uma séria ameaça à supremacia económica da Europa e que é o garante do seu elevado modelo social. Tendo em conta que o desenvolvimento de materiais avançados para a eficiência energética de edifícios faz parte do grupo de Projetos Importantes de Interesse Comum Europeu (IPCEI) conforme referido no Relatório Final do Grupo de Peritos de Alto Nível, o presente artigo analisou por isso de que forma investigações recentes no domínio da nanotecnologia e da biotecnologia podem contribuir para a melhoria da eficiência energética dos edifícios.

Reconhecimento

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia - Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino superior (FCT/MCTEs) no âmbito do projeto IF/00706/2014.

Bibliografia

Arnall, A.; Parr, D. (2005) Moving the nanoscience and technology (NST) debate forwards: short-term impacts, long-term uncertainty and the social constitution. *Technology in Society* 27, 23-38

Atanasiu, B., Knotonasiou, E., Mariottini, F., 2014. Alleviating fuel poverty in the EU. Investing in home renovation. A sustainable and inclusive solution. *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*.

Babu, R.; O'Connor, K.; Seeram, R. (2013) Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials* 2, 8

Baetens, R.; Jelle, B.; Gustavsen, A. (2010) Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 94, pp.87-105.

Berardi U (2015) The development of a monolithic aerogel glazed window for an energy retrofitting project. *Applied Energy* 154:603-615

Buratti C, Moretti E. Glazing systems with silica aerogel for energy savings in buildings. *Appl Energy* 2012;98:396-403.

Buratti C, Moretti E (2013) Nanogel windows. In: *Nearly Zero Energy Building Refurbishment: A Multidisciplinary Approach* Eds Pacheco-Torgal F, Mistretta M, Kaklauskas A, Granqvist CG, Cabeza LF, p.555-582, Springer-Verlag London

Buratti C, Moretti E, Belloni E, Agosti F (2014) Development of Innovative Aerogel Based Plasters: Preliminary Thermal and Acoustic Performance Evaluation. *Sustainability* 6:5839-5852;

Cervera, R.; Pioz, J. (2014) Architectural bio-photo reactors: Harvesting microalgae on the surface of architecture. 163-180, In *Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*, Eds Pacheco-Torgal, F.; Labrincha, J.; Diamanti, M.; Yu, C.-P.; Lee, H.K., Springer, London

Chen, W.; Li, Q.; Wang, Y.; Yi, X.; Zeng, J.; Yu, H.; Liu, Y.; Li, J. (2014) Comparative study of aerogels obtained from differently prepared nanocellulose fibers. *ChemSusChem* 7, 154-161.

Chen, Z.; F. Yu, X.R. Zeng, Z.G. Zhang, Preparation, characterization and thermal properties of nanocapsules containing phase change material n-dodecanol by mini emulsion polymerization with polymerizable emulsifier, *Appl. Energy* 91 (2012) 7-12.

Charreau, H.; Foresti, M.; Vazquez, A. (2013) Nanocellulose patents trends: A comprehensive review on patents on cellulose nanocrystals, microfibrillated and bacterial cellulose. *Recent Patents on Nanotechnology* vol. 7, 56-80.

- Chirayil, C.; Mathew, L.; Thomas, S. (2014) Review of recent research in nanocellulose preparation from different lignocellulosic fibers. *Rev Adv Mater Sci* 37, 20-28.
- Chisti, Y. (1980) An unusual hydrocarbon. *J Ramsay Soc* 27-28, 24-26.
- Chisti, Y. (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances* 25, 294-306.
- Drexler, K. (1981) Molecular engineering: An approach to the development of general capabilities for molecular manipulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 78, pp. 5275-5278.
- Escribano MAB and Keraben Grupo SA (2013) Development of a novel and cost-effective range of nanotech improved coatings to substantially improve NIR (Near Infrared Reflective) properties of the building envelope, FP7 Project http://cordis.europa.eu/project/rcn/94644_en.html
- Favoino, F.; Overend, M.; Jin, Q. (2015) The optimal thermo-optical properties and energy saving potential of adaptive glazing technologies. *Applied Energy* 156, 1–15.
- Feynman, R. (1960) There's plenty of room at the bottom (reprint from the speech given at the annual meeting of the West Coast section of the American Physical Society). *Engineering Science*, Vol.23, pp.22-36.
- Filate, SS (2014) Investigation of an energy refurbishment concept for office building using Nanogel®Aerogel insulation plaster and replaced windows by building simulation. Master Programme in Energy Technology, Uppsala Universitet.
- Gao, T.; Jelle, B.; Gustavsen, A. (2013) Antireflection properties of monodisperse hollow silica nanospheres, *Appl. Phys. A* 110, 65–70.
- Granqvist, C.-G. (2013) Switchable glazing technology for eco-efficient construction. in *nanotechnology in eco-efficient construction. Materials, Processes and Applications*. Eds. Pacheco-Torgal, F.; Diamanti, V.; Nazari, A.; Granqvist, C.G., Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK, 236-269.
- Hadian e Madani (2015) A system of systems approach to energy sustainability assessment: Are all renewables really green? *Ecological Indicators* Vol. 52, p.194-206.
- Ivanov, V.; Chu, J.; Stabnikov, V. (2014) Basics of construction microbial biotechnology. In *Pacheco-Torgal, F.; Labrincha, J.; Diamanti, M.; Yu, C.-P.; Lee, H. (Eds) Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*, Springer Verlag, London
- Yoshimura, K.; Yamada, Y.; Bao, S.; Tajima, K.; Okada, M., Preparation and characterization of gasochromic switchable-mirror window with practical size. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, pp.2138–2142 (2009)
- Jelle, B.; Kalnæs, S.; Gao, T. (2015) Low-emissivity materials for building applications: A state-of-the-art review and future research perspectives. *Energy and Buildings* 96, 329–356.
- Jelle BP, Hynd A, Gustavsen A, Arasteh D, Goudey H, Hart R (2012) Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 96, 1-28.
- Kalaiselvam, S.; Parameshwaram, R.; Harikrishnan, S. (2012) Analytical and experimental investigations of nanoparticles embedded phase change materials for cooling application in modern buildings. *Renewable Energy* 39, 375-387.
- Kalnæs, S.; Jelle, P. (2015) Phase change materials and products for building applications: A state-of-the-art review and future research opportunities. *Energy and Buildings* 94, 150–176.
- Kim S, Seo J, Cha J, Kim S (2013) Chemical retreating for gel-typed aerogel and insulation performance of cement containing aerogel. *Construction and Building Materials* 40:501–505.
- King, D.; Brown, J.; Layard, R.; O'Donnell, G.; Rees, M.; Stern, N.; Turner, A. (2015) A global Apollo programme to combat climate change.
- Kristiansen, F. (2005) Super insulating aerogel glazing. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 89, 275–285.
- Koller, M.; Salerno, A.; Braunnegg, G. (2015) Value-added products from algal biomass. In *Algae as potential source of food and energy in developing countries: Sustainability, Technology and Selected Case Studies* (Eds) Perosa, A.; Bordignon, G.; Ravagnan, G.; Zinoviev, S. Pp.19-30.
- Lee, E.; Di Bartolomeo, D., Application issues for large-area electrochromic windows in commercial buildings. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 71, 465–491 (2002)
- Liao, Q.; Li, L.; Chen, R.; Zhu, X. (2014) A novel photobioreactor generating the light/dark cycle to improve microalgae cultivation. *Bioresource Technology* (in press)
- Loonen, R.; Trcka, M.; Costola, D.; Hensen, J. (2013) Climate adaptive building shells: state-of-the-art and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, 483-493.
- Mariano, M.; El Kissi, N.; Dufresne, A. (2014) Cellulose Nanocrystals and Related Nanocomposites: Review of some Properties and Challenges. *Journal of Polymer Science*
- Mangematin, V.; Walsh, S. (2012) The future of nanotechnologies. *Technovation* 32,157-160.
- Mujeebu, M.; Ashraf, N.; Alsuwayigh, A. (2016) Energy performance and economic viability of nano aerogel glazing and nano vacuum insulation panel in multi-story office building. *Energy* 113, 949-956.
- Nguyen, S.; Feng, J.; Ng, S.; Wong, J. (2014) Advanced thermal insulation and absorption properties of recycled cellulose aerogels. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* (in press)

Pacheco-Torgal, F.; Jalali, S. (2011) Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of building materials. *Construction and Building Materials* Vol.25, 582-590.

Pacheco-Torgal, F.; Fucic, A.; Jalali, S. (2012) *Toxicity of Building Materials*. Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge, UK

Pacheco-Torgal, F.; Diamanti, V.; Nazari, A.; Granqvist, C. (2013) *Nanotechnology in eco-efficient construction. Materials, processes and applications*. Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Cambridge,

Pacheco-Torgal, F. (2014) Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. *Construction and Building Materials* Vol.51, 151-162.

Pacheco-Torgal, F.; Ivanov, V.; Jonkers, H.; Karak, N. eds. 2016. *Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-efficient Construction Materials* ed. 1. Woodhead Publishing Limited- Elsevier Science and Technology. Abington Hall, Cambridge, UK:

Papaefthimiou, S.; Syrrakou, E.; Yianoulis, P., Energy performance assessment of an electrochromic window. *Thin Solid Films* 502, pp.257 – 264 (2006)

Parameshwaran R, Kalaiselvam S (2013) Energy efficient hybrid nanocomposite-based cool thermal storage air conditioning system for sustainable buildings, *Energy* 59, 194-214.

Parameshwaran R, Kalaiselvam S (2014) Energy conservative air conditioning system using silver nano-based PCM thermal storage for modern buildings, *Energy and Buildings* 69, 202-212.

Pei, R.; Liu, J.; Wang, s. (2015) Use of bacteria cell walls as a viscosity-modifying admixture of concrete. *Cement and Concrete Composites* 55, 186-195.

Pike Research (2012) *Smart glass—electrochromic, suspended particle, thermochromic, and liquid crystal glass technologies for architectural and transportation applications*. Global Market Analysis and Forecasts.

Pisello, A. 2015. High-albedo roof coatings for reducing building cooling needs. In *Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs: Design, Properties and Applications*, ed. Pacheco-Torgal, Labrincha, Cabeza & Granqvist, p.243-268 . Woodhead Publishing Limited- Elsevier Science and Technology, Abington Hall, Cambridge, UK:

Pisello, A.; Paolini, R.; Diamanti, M.; Fortunati, E.; Castaldo, V.; Torre, L. (2016) Nanotech-based cool materials for building energy efficiency. In *Nano-and Biotech-Based Materials for Energy Building Efficiency*, Eds Pacheco-Torgal, F.; Buratt, C.; Kalaiselvam, S.; Granqvist, C.; Ivanov, V., p.245-278. . London: Springer Verlag, London

Pittaluga M (2015) Electrochromic glazing and walls for reducing building cooling needs. In: Pacheco-Torgal F, Labrincha JA, Cabeza LF, Granqvist CG (eds) *Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs: Design, properties and applications*, Woodhead, Cambridge, UK, pp 473–497.

Rao, Z.; S. Wang, F. Peng, Molecular dynamics simulations of nano-encapsulated and nanoparticle-enhanced thermal energy storage phasechange materials, *Int. J. Heat Mass Transfer* 66 (2013) 575–584.

Santamouris, M.; Synnefa, A.; Karlessi, T. (2011) Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy* 85, 3085–3102. Schultz, J.; Jensen, K.;

Soltani, A., Tabatabaeian, S., Hanafizadeh, P. and Soofi, J. (2011) An evaluation scheme for nanotechnology policies. *Journal of Nanoparticle Research* 13, 7303-7312.

Tavares, L.V (2000) *A engenharia e a tecnologia ao serviço do desenvolvimento de Portugal: Prospectiva e estratégia, 2000-2020*. Academia de Engenharia, Editorial Verbo, Lisboa

Tavares, P.; Gaspar, A.; Martins, A.; Frontini, F. (2015) Electrochromic windows impact on energy performance of buildings in Mediterranean climates: A case study. In: Pacheco-Torgal F, Labrincha JA, Cabeza LF, Granqvist CG (eds) *Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs: Design, properties and applications*, Woodhead, Cambridge, UK, pp 499-524.

TED Talk (2016) Oded Shoseyov on “How we are harnessing nature’s hidden superpowers”.
http://www.ted.com/talks/oded_shoseyov_how_we_re_harnessing_nature_s_hidden_superpowers#t-130858

Teller-Elsberg, T.; B Sovacool, T Smith, E Laine J Teller-Elsberg, B Sovacool, T Smith, E Laine (2016) Fuel poverty, excess winter deaths, and energy costs in Vermont: Burdensome for whom? *Energy Policy*, 90, pp.81-91.

Ullah, K.; Ahmad, M.; Sharma, V.; Lu, P.; Harvey, A.; Zafar, M.; Sultana, S. (2015) Assessing the potential of algal biomass opportunities for bioenergy industry: A review. *Fuel* 143, 414-423.

Ürge-vorsatz, D.; Cabeza, L.; Serrano, S.; Barreneche, C.; Petrichenko, K. (2015) Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 41, p.85–98.

Wang, G.; Guan, J. (2010) The role of patenting activity for scientific research: A study of academic inventors from China’s nanotechnology. *Journal of Informetrics* 4, 338–350

Wang H, Wu H, Ding Y, Feng J, Wang S (2014) Feasibility and optimization of aerogel glazing system for building energy efficiency in different climates. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 1–8

Williams, J.; De Benedictis, A.; Ghanadan, R.; Mahone, R.; Moore, J.; Morrow, W.; Price, S.; Torn, M. (2012) *The Technology Path to Deep Greenhouse Gas Emissions Cuts by 2050: The Pivotal Role of Electricity*. Science 6 January 2012: Vol. 335 no. 6064, 53-59.

Zhang Z, Wang K, Mo B, Li X, Cui X (2015) Preparation and characterization of a reflective and heat insulative coating based on geopolymers. *Energy and Buildings* 87: 220–225.